



РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 621.7, 669.017 (075.8)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023

 EDN: SIWGDN

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Александр Анатольевич Шматов ¹, Мэй Шун Чи ²

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

^{1,2} Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР

¹ dr.shmatov2014@yandex.ru

² 1533876320@qq.com

Аннотация. Дана сравнительная оценка работы абразивных, режущих и штамповых металлообрабатывающих инструментов и сформулированы требования к их основным эксплуатационным свойствам. Выявлены две основные причины выхода из строя металлообрабатывающих инструментов: их хрупкое и пластическое разрушение. Предложены методы повышения работоспособности инструментов: 1) способ химико-термической обработки для получения сверхтвердых карбидных покрытий; 2) способ термогидрохимической обработки для получения твердосмазочных покрытий; 3) способ объемной упрочняющей термоциклической обработки.

Ключевые слова: металлообрабатывающие инструменты, хрупкое и пластическое разрушение.

Для цитирования: Шматов А. А., Мэй Шун Чи. Эксплуатационная оценка металлообрабатывающих инструментов и требования, предъявляемые к ним // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 170–176. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/SIWGDN>.

Original article

OPERATIONAL EVALUATION OF METALWORKING TOOLS AND REQUIREMENTS FOR THEM

Alexander A. Shmatov ¹, Mei Shunqi ²

^{1,2} Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

² Wuhan Textile University, Wuhan, China

¹ dr.shmatov2014@yandex.ru

² 1533876320@qq.com

Abstract. A comparative evaluation of the work of abrasive, cutting and stamp metalworking tools is given and requirements for their main operational properties are formulated. Two main reasons for the failure of metalworking tools have been identified: their brittle and plastic fracture. Methods for improving the performance of tools are proposed: 1) a thermo-chemical treatment method to obtain superhard carbide coatings; 2) a thermohydrochemical treatment method to obtain solid lubricating coatings, 3) a method of volumetric strengthening thermocyclic treatment.

Keywords: metalworking tools, brittle and plastic fractures.

© Шматов А. А., Мэй Шун Чи, 2023

For citation: Shmatov, A. A. & Mei, Shunqi. (2023). Operational evaluation of metalworking tools and requirements for them. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 170-176. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023. <https://elibrary.ru/SIWGDN>.

ВВЕДЕНИЕ

По-прежнему остро стоит задача повышения работоспособности многих металлообрабатывающих инструментов, прежде всего интенсивно эксплуатируемых инструментов и предназначенных для резания труднообрабатываемых сплавов, а также для работы на станках с ЧПУ. Существует несколько причин выхода из строя стальных, твердосплавных и алмазных инструментов [1–11], от которых зависит их работоспособность. На решение этой проблемы направлены практически все известные методы упрочнения. В основном развиваются технологии получения износостойких покрытий методами PVD (физического осаждения из паровой фазы), CVD (химического осаждения из парогазовой фазы) и др. с применением нетрадиционных высокоэнергетических источников и вакуумной техники, но эти методы малопроизводительны, энергоемки, дорогостоящи и не всегда учитывают конкретные условия работы инструментов [1–3]. Поэтому целью настоящей статьи явилось рассмотрение научных и технологических особенностей эксплуатации абразивных, режущих и штамповых металлообрабатывающих инструментов, выявление основных причин выхода их из строя, определение главных структурно-эксплуатационных характеристик, улучшающих работу инструментов и предложение путей повышения работоспособности инструментов с учетом их эксплуатационных условий.

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АБРАЗИВНЫХ, РЕЖУЩИХ И ШТАМПОВЫХ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Как режущие, так и штамповые металлообрабатывающие инструменты в процессе работы испытывают несколько видов воздействий: тепловое, химическое, механическое с ударными, растягивающими, сжимающими или изгибающими нагрузками и др. Наибольшему воздействию подвергается рабочая кромка инструмента, но могут быть нагружены и остальные его части. По общей классификации контактного взаимодействия поверхностей трения штамповые и режущие

инструменты (с интенсивностью изнашивания $J_h = 10^{-5}–10^{-8}$) относятся к 6–8-му классам, что соответствует упругопластическому деформированию и микрорезанию [1].

Все инструменты при их эксплуатации находятся в сложнапряженном состоянии. На рабочей кромке инструмента чаще всего создаются высокие контактные напряжения (до 4000 МПа) и давления, необходимые для деформирования или разрушения (резания) обрабатываемого материала. При очень больших напряжениях, особенно если они сопровождаются нагревом, может наблюдаться пластическое деформирование поверхностного слоя рабочей части стального инструмента. Инструменты часто работают на изгиб и кручение; в этом случае возникают повышенные напряжения на участках, удаленных от контактирующей поверхности, в частности у основания зуба метчика, фрезы. Некоторые инструменты (протяжки, штампы для прошивки и выдавливания) испытывают растягивающие напряжения, которые при ужесточении режимов механической обработки могут быть причиной поломки инструмента или выкрашивания его рабочей кромки. Многие инструменты испытывают ударные нагрузки, создаваемые условиями обработки (фрезы или долбяки при прерывистом резании, сверла при сквозном сверлении, пуансоны при вырубке или пробивке) или вибрации, не устранимые в системе «станок – обрабатываемая деталь – инструмент». Кроме того, режущий инструмент и штампы для холодного деформирования работают при переменных нагрузках и могут выйти из строя вследствие усталостного разрушения [1–11].

При работе инструмента его рабочая кромка нагревается за счет теплоты трения в процессе резания или пластического деформирования обрабатываемого материала. С повышением скоростей резания или увеличением времени контакта штампа с деформируемым металлом, особенно при отсутствии или ограниченной подаче смазки, температура рабочей кромки может повыситься настолько, что приводит к ее формоизменению, потере прочности и трещинообразованию [1–7]. В таких случаях рекомендуется: 1) строго контролировать режим теплового воздействия на рабочую кромку инструмента; 2) изготавливать инструменты и покрытия из

твердых сплавов и других керамические материалы, сохраняющих твердость и прочность при высоких температурах.

Сравнительная эксплуатационная оценка, проведенная по основным видам и материалам инструментов [1–14], позволила выявить основные причины выхода их из строя и определить требуемые рабочие характеристики инструментов (рис. 1) [15]. Абразивное изнашивание чаще проявляется при работе различных металлообрабатывающих инструментов, когда их рабочая поверхность царапается более твердыми включениями обрабатываемого материала или частицами нароста. Диффузионное изнашивание характерно для высокоскоростного стального, твердосплавного и алмазного инструментов, когда до высокой температуры нагревается рабочая кромка, в результате чего происходит ее разупрочнение и диффузионное взаимодействие с обрабатываемым материалом. Адгезионному разрушению подвергаются все виды режущего и штампового инструмента за счет схватывания его контактных поверхностей с обрабатываемым материалом (стружкой, другими продуктами износа). Адгезион-

ное изнашивание часто сопровождается усталостным изнашиванием, поскольку растягивающие напряжения в режущем клине циклически изменяются при многократном повторении циклов «схватывание–разрушение», «упрочнение–разупрочнение». Окислительное изнашивание присуще стальному режущему инструменту, когда образуемые на его поверхности оксидные пленки разрушаются под действием нагрузок, и оно интенсифицируется при повышении температуры в зоне контакта выше 450 °С. Взаимодействие кислорода воздуха с внутренней структурой рабочей части инструмента также приводит к коррозионно-механическому изнашиванию, когда облегчается вырыв карбидных зерен и образование микротрещин, а также создается межзеренное и межфазное охрупчивание. Пластическое разрушение рабочей кромки имеет место для инструментов из твердых сплавов, быстрорежущих и других инструментальных сталей и происходит в результате пластического течения контактных слоев с последующим их срезом из-за процессов рекристаллизации и микроползучести по границам зерен.



Рисунок 1 – Эксплуатационные требования и причины выхода из строя металлообрабатывающих инструментов [15]

Figure 1 – Operational requirements and reasons for failure of metalworking tools [15]

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Согласно анализу [5], существуют две основные причины выхода из строя режущего инструмента: хрупкое разрушение в виде выкрашивания и скалывания режущей части и пластическое разрушение в виде потери формоустойчивости, истирания и затупления режущей кромки. Для большинства режущих инструментов имеет место истирание и выкрашивание рабочей кромки, а поломка и скалывание – явление более редкое, свойственное тонкому и интенсивно работающему инструменту. Выкрашивание, причинами которого являются неоднородность структуры, поверхностные дефекты и остаточные напряжения вследствие термообработки, шлифования, прерывистого резания и других причин, характерно для хрупких инструментальных материалов (твердого сплава, керамики). Отмечено также, что инструменты при небольших скоростях резания и степенях деформации преимущественно испытывают абразивный и адгезионно-усталостный виды изнашивания, а при больших скоростях резания и высоком нагреве – диффузионный и окислительный виды изнашивания.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Уровень развития современной техники характеризуется высокой интенсивностью эксплуатации металлообрабатывающих инструментов с широким применением сложнолегированных и труднообрабатываемых сталей и сплавов. Поэтому многие инструменты имеют малый срок службы. В производстве также остро стоит проблема поломки и выкрашивания тонких, длинномерных, мелко-размерных и ударных режущих и штамповых инструментов по причине их невысокой конструкционной прочности, поскольку любое повышение твердости снижает пластичность, делая инструменты более хрупкими. Все это требует разработки: во-первых, инструментов на основе новых материалов с повышенными эксплуатационными свойствами; во-вторых, новых высокотехнологичных процессов поверхностной и объемной обработки, позволяющих увеличить износостойкие, прочностные и пластичные свойства для наилучшего повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов; этот путь развития более предпочтительный.

Проведенный тематический обзор [1–3, 16–26] позволил установить множество технологий поверхностной и объемной упрочняющей обработки, при произвольном или комбинированном использовании которых прак-

тически невозможно решить важную научно-техническую проблему повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов. Большинство современных технологий поверхностной и объемной упрочняющей обработки имеют ряд недостатков: невысокую эффективность и малую производительность, большую энергоемкость и необходимость применения дорогостоящего вакуумного или другого специального оборудования, а также значительные затраты на внедрение процессов. Сравнительный анализ [15] показал, что наиболее технологичными, эффективными и быстро внедряемыми в производство являются термохимические способы поверхностной обработки и термоциклические способы объемной обработки металлообрабатывающих инструментов.

В настоящей работе [15] предложены (рис. 2) два метода поверхностной обработки для повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов: 1-й – это способ химико-термической обработки (ХТО) для получения сверхтвердых поликарбидных покрытий, чтобы повысить сопротивление абразивному, диффузионному и окислительному изнашиванию инструментов; и 2-й – это способ термогидрохимической обработки (ТГХО) для получения твердосмазочных покрытий, чтобы повысить сопротивление адгезионному и адгезионно-усталостному изнашиванию инструментов. Тогда 1-й способ поверхностной обработки можно применить для штампов из сталей и твердых сплавов, а также для режущих твердосплавных инструментов; 2-й способ поверхностной обработки – для штампов холодного деформирования и режущих инструментов из сталей и твердых сплавов, а также для алмазно-абразивных инструментов. Для объемной обработки металлообрабатывающих инструментов еще предложен (рис. 2) метод упрочняющей термоциклической обработки (УТЦО), который предназначен устранить выкрашивание (или смятие) рабочей кромки и поломку тонких, длинномерных и ударных стальных инструментов за счет значительного одновременного улучшения износостойких, прочностных и пластичных свойств. Этот способ объемной обработки можно применить для ударных штампов и режущих инструментов из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей. Чтобы достичь наибольшего эффекта в деле повышения работоспособности стальных металлообрабатывающих инструментов, рекомендуется комбинировать метод объемной обработки УТЦО с разными видами термохимических методов поверхностной обработки: ТГХО или ХТО.

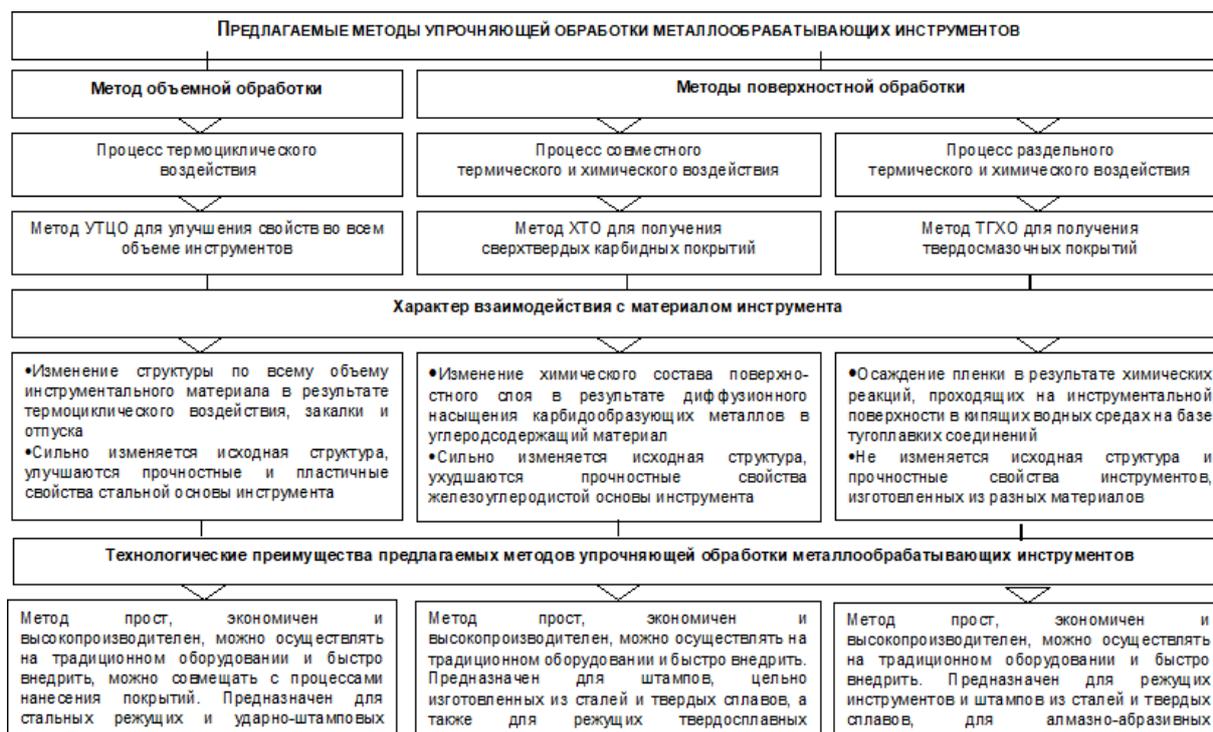


Рисунок 2 – Предлагаемые методы упрочняющей обработки металлообрабатывающих инструментов

Figure 2 – Proposed methods of hardening treatment of metalworking tools

Инструменты, упрочненные предложенными методами, прошли производственные испытания на 44 предприятиях Беларуси, России, США, Германии, Польши, Словакии, Чехии, Китая. Показано (табл. 1), что упроч-

нение методами ХТО, ТГХО и УТЦО является наиболее перспективным направлением повышения эксплуатационных свойств различных инструментов.

Таблица 1 – Результаты испытаний упрочненных инструментов

Table 1 – Test results of hardened tools

Вид инструмента	Инструментальный материал	Метод упрочнения	Стойкость, K_w	Место испытаний
1	2	3	4	5
Фрезы концевые	стали 19824, P6M5, P18	УТЦО, УТЦО+ТГХО	1,4–12	SVST(Sk), БелАЗ, Легмаш, АГУ, ВТЗ, Экран, Атлант
Фрезы дисковые	сталь P6M5	УТЦО, ТГХО	2–8	Мотовело, АГУ, БЗСП, БелАЗ
Резцы	сталь P6M5	УТЦО	1,6–4,5	АГУ, Экран, БАТЭ
Плашки	стали P6M5, 9XC	ТГХО	2–4	Экран
Метчики	стали P9M4K8МП P6M5, 9XC	УТЦО+ТГХО, ТГХО, УТЦО	1,5–20	Daewoo (Kr), МТЗ, БелАЗ, Салют, ПМЗ, УМПО, БелТИЗ, ВТЗ, Экран
Долбяки	сталь P6M5	ТГХО	1,6–4,5	БААЗ, Мотовело, ММЗ
Ленточные пилы	сталь S6-5-2	ТГХО	2,5–3	VUHZ (Ch)
Сверла	стали S6-5-2, 19824, P6M5	ТГХО, УТЦО	1,8–4,2	Stock (De), PS (Sk), VUHZ(Ch), Дормаш, АГУ, ВТЗ, Мотовело
Развертки	сталь P6M5	ТГХО, УТЦО	2–4	Мотовело, БАТЭ, ВТЗ, АГУ
Зенкера	стали P6M5, P6M5K5	УТЦО, ТГХО	1,8–4	ВТЗ, Салют, Энергомаш
Ножи	стали 19824, У10	ТГХО, ХТО	1,9–3	Skloplast Trnava (Sk), Хумпласт

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Пресс-формы	стали У8, ХВГ	ХТО	2–6	<i>МЗШ, ПМ, Химпласт</i>
Штампы вырубные и пробивные	стали 19732, ДИ-23, Х12, У8, У10	УТЦО, ТГХО ХТО	1,8– 4,5	<i>ZVL(Sk), УМПО, БелАЗ, КЗТШ Гомсельмаш, Экран, Горизонт</i>
Направляющие	сталь У8	ХТО	>10	<i>Гомсельмаш</i>
Форсунки	стали У8, 18ХГТ	ХТО	2–6	<i>ВНИИСМИ</i>
Пластины для точения	тв. сплавы Т15К6, МР4, РТ40	ХТО, ТГХО	1,3 – 4	<i>БелАЗ, АГУ, БМЗ, КЗТШ</i>
Пластины для фрезерования	тв. сплавы МК8, Т15К6, ВК8	ТГХО	1,5–4	<i>БМЗ, МПЗ, Мотовело, Экран</i>
Фрезы цельные	тв. сплав ВК6М	ХТО	4–20	<i>Атлант, Экран</i>
Волоки	тв. сплавы	ТГХО	1,4– 1,8	<i>БМЗ</i>
Сверла по стеклу	алмаз. материал	ТГХО	2,5– 3,3	<i>Индмаш</i>
Абразивные круги	алмаз. материал	ТГХО	1,6– 2,7	<i>БелАЗ, МПЗ, Калибр</i>

Отмечено, что нанесение поликарбидных покрытий методом ХТО особо эффективно для стальных и твердосплавных инструментов, работающих в условиях коррозионно-абразивного изнашивания; причем чем выше твердость обрабатываемых изделий, тем выше показатели стойкости упрочненных инструментов. После ХТО стойкость стальных штампов и техоснастки увеличилась в 2–6 раз, а твердосплавных режущих и штамповых инструментов – в 2–20 раз по сравнению с традиционными. Другая технология ТГХО более универсальна, т.к. позволяет упрочнять любые металлообрабатывающие инструменты, изготовленные из разных материалов. Испытания показали, что стойкость таких инструментов при черновой обработке выше, чем при чистой. В результате ТГХО период стойкости стальных инструментов увеличился в 1,5–8 раз, твердосплавных – в 1,3–3,3 раза, а алмазных инструментов – в 1,6–3,3 раза по сравнению со стандартными. Третий метод УТЦО применим к быстрорежущим и штамповым сталям и наиболее эффективен для тонких, длинномерных и ударных инструментов, испытывающих большие статические и динамические нагрузки, особенно при прерывистом и черновом резании труднообрабатываемых сплавов и с твердостью до HRC 45–48. Показатели стойкости ТЦ инструментов повышаются с увеличением твердости обрабатываемых сплавов. Испытания показали, что после УТЦО стойкость пуансонов, матриц повышается в 1,9–4,5 раз, а режущих инструментов – в 1,6–12 раз в сравнении с серийными. Отмечено, что эффект упрочнения усиливается при комбинировании технологий УТЦО+ТГХО, и тогда стойкость метчиков возрастает в 2,5–6,3 раза по сравнению со стандартными.

ВЫВОДЫ

1. На основании эксплуатационной оценки металлообрабатывающих инструментов установлены две основные причины выхода их из строя: 1-я – пластическое разрушение в виде потери формоустойчивости, истирания и затупления режущей кромки; 2-я – хрупкое разрушение в виде выкрашивания и скалывания режущей части, а также поломки тонких и ударных инструментов. С другой стороны, инструменты при небольших скоростях резания и степенях деформации преимущественно испытывают абразивный и адгезионно-усталостный виды изнашивания, а при больших скоростях резания и высоком нагреве – диффузионный и окислительный виды изнашивания.

2. В результате обобщенного анализа установлено, что большие перспективы для развития в области упрочнения металлообрабатывающих инструментов имеют два метода поверхностной обработки: 1-й – это способ химико-термической обработки для получения сверхтвердых карбидных покрытий, чтобы повысить сопротивление абразивному, диффузионному и окислительному изнашиванию инструментов; и 2-й – способ термогидрохимической обработки для получения твердосмазочных покрытий, чтобы повысить сопротивление адгезионному и адгезионно-усталостному изнашиванию инструментов, а также метод объемной термоциклической обработки, чтобы увеличить износостойкость, уменьшить выкрашивание (или смятие) рабочей кромки и поломку тонких, длинномерных и ударных стальных инструментов. Применение этих методов в машиностроительном производстве позволило увеличить стойкость различных металлообрабатывающих инструментов в 1,3–20 раз по сравнению с серийными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1990. 528 с.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М. : Металлургия, 1983. 527 с.
3. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М. : Машиностроение, 1986. 192 с.
4. Формообразующие инструменты в машиностроении : учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе [и др.]. М. : Новое знание, 2006. 557 с.
5. Бельский С.Е., Тофпенец Р.Л. Структурные факторы эксплуатационной стойкости режущего инструмента. Минск : Наука и техника, 1984. 128 с.
6. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М. : Машиностроение, 1982. 320 с.
7. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
8. Иткин А.Л. Изготовление и эксплуатация твердосплавного режущего инструмента. М. : Машгиз, 1962. 192 с.
9. Хаустова О.Ю. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента и качества обработанных поверхностей при сухом резании различных конструкционных материалов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.03.01. М., 2004. 180 л.
10. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. Киев : Техника, 1980. 131 с.
11. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М.–Л. : Машиностроение, 1965. 437 с.
12. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
13. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания. Пер. с англ. М. : Машиностроение, 1984. 264 с.
14. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) : учебник. М. : Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
15. Шматов А.А. Научные и технологические основы термохимических и термоциклических методов упрочняющей обработки металлообрабатывающих инструментов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.16.01, 05.02.07. Минск, 2020. 344 л.
16. Материаловедение : учебник для вузов / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 648 с.
17. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов. М. : Машиностроение, 1986. 320 с.
18. Витязь П.А. Твердосмазочные покрытия в машиностроении. Минск : Бел. наука, 2007. 170 с.
19. Чудина О.В. Комбинированные методы поверхностного упрочнения сталей с применением

лазерного нагрева. Теория и технология. М. : МАДИ, 2003. 248 с.

20. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия. Пер. с англ. М. : Мир, 2000. 518 с.

21. Наноструктурные покрытия. Пер. с англ. / Под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона. М. : Техносфера, 2011. 752 с.

22. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. М. : Металлургия, 1981. 424 с.

23. Вассерман И.М. Химическое осаждение из растворов. Л. : Химия, 1980. 208 с.

24. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П.А. Витязь [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2011. 527 с.

25. Маскаева Л.Н. Гидрохимический синтез, структура и свойства пленок пересыщенных твердых растворов замещения $Me_xPb_{1-x}S$ ($Me - Zn, Cd, Cu, Ag$) : дисс. ... д-ра хим. наук : 02.00.04. Екатеринбург, 2004. 383 л.

26. Лыгденов Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 01.04.07. Новокузнецк, 2004. 21 с.

Информация об авторах

А. А. Шматов – д.т.н., профессор и академик РАЕ, главный научный сотрудник Научно-исследовательского политехнического института – филиала Белорусского национального технического университета; профессор Уханьского текстильного университета.

Мэй Шун Чи – Ph.D, профессор и декан Уханьского текстильного университета, академик РАЕ.

Information about the authors

A.A. Shmatov - Doctor of Technical Sciences, Professor and Academician of the RAE, Chief Researcher of the Research Polytechnic Institute - branch of the Belarusian National Technical University; Professor of the Wuhan Textile University.

Mei Shun Chi - Ph.D., Professor and Dean of Wuhan Textile University, Academician of the RAE.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.